

PC 10856

5

**Verfahren zum Regeln eines Bremsdrucks****Beschreibung:**

10

Die Erfindung betrifft ein Verfahren zum Regeln eines Bremsdrucks in wenigstens einer an einer Fahrzeugachse angebrachten Radbremse, während eines Bremsvorgangs auf einer Fahrbahn mit inhomogenem Reibwert.

15

Die Erfindung betrifft zudem eine Vorrichtung zum Regeln einer Bremsdruckdifferenz zwischen einem Bremsdruck in einer Radbremse auf einer Niedrigreibwertseite und einem Bremsdruck in einer Radbremse auf einer Hochreibwertseite des Fahrzeugs

20

während eines Bremsvorgangs auf einer Fahrbahn mit einem inhomogenen Reibwert.

25

Beim Bremsen auf einer inhomogenen Fahrbahn mit unterschiedlichen Reibwerten auf der linken und rechten Fahrzeuglängsseite können asymmetrische Bremskräfte auftreten, die ein Giermoment bewirken, welches das Fahrzeug in eine Drehbewegung um seine Hochachse versetzt. Um dabei ein Schleudern des Fahrzeugs zu verhindern, muss der Fahrer durch geeignete Lenkbewegungen ein kompensierendes Giermoment aufbauen, das dem durch die asymmetrischen Bremskräfte verursachten Moment entgegenwirkt. Ein Blockieren der Räder soll dabei auch auf der Fahrzeugseite mit dem niedrigen Reibwert vermieden werden, da die mit dem Blockieren einhergehende starke Verminde-

30

rung der übertragbaren Seitenführungskraft eines Rades den Aufbau des erforderlichen Kompensationsmoments verhindern kann.

5 Bei Fahrzeugen mit einem Anti-Blockiersystem (ABS) wird das Blockieren der Räder durch einen Regler verhindert. In Situationen der genannten Art verfolgt eine üblicherweise angewandte Regelstrategie dabei einerseits das Ziel, das Fahrzeug durch einen möglichst hohen Bremsdruck in den Radbremsen auf  
10 der Fahrzeugseite mit dem höheren Reibwert mit einem geringen Bremsweg zu verzögern. Andererseits soll der Fahrer nicht durch ein aufgrund von unterschiedlichen Bremskräften auf der Hoch- bzw. Niedrigreibwertseite verursachtes Giermoment überfordert werden (Reaktionszeit des Fahrers beim Gegenlenken).

15 Daher erfolgt die Regelung in den betrachteten Situationen anhand einer so genannten Giermomentaufbauverzögerung (GMA) so, dass an der Vorderachse des Fahrzeugs eine Differenz zwischen den Bremsdrücken auf der Hoch- und der Niedrigreibwertseite nur langsam aufgebaut wird, um dem Fahrer so ausreichend Zeit zum Ausführen stabilisierender Lenkbewegungen zu  
20 geben. In den Radbremsen an der Hinterachse wird der Bremsdruck auf den für die Niedrigreibwertseite zugelassenen Wert begrenzt ("select low"), damit an der Hinterachse ausreichend  
25 Seitenführungskraft aufgebaut werden kann, um das Fahrzeug durch Lenkeingriffe stabilisieren zu können.

Die dargestellten Maßnahmen erlauben dem Fahrer zwar eine einfachere Beherrschung des Fahrzeugs, das Reibwertpotenzial  
30 der Hochreibwertseite wird jedoch nicht optimal zur Verzögerung des Fahrzeugs ausgenutzt.

Aus der deutschen Offenlegungsschrift DE 197 07 106 A1 ist es bekannt, den Bremsdruck in der Radbremse an dem auf der Hochreibwertseite befindlichen Rad, dem so genannten High-Rad, anhand einer einen Fahrzustand des Fahrzeugs repräsentierenden Größe zu steuern, welche in Abhängigkeit einer Abweichung zwischen der Gierrate des Fahrzeugs und einer aus dem von einem Fahrzeugbediener eingestellten Lenkwinkel berechneten Sollgierrate gebildet wird. Damit wird eine radindividuelle Bremsdruckregelung anstelle der vorbeschriebenen Select-Low-  
10 Regelung vorgenommen.

Falls das Fahrzeug in Richtung der Hochreibwertseite giert, führt ein Druckaufbau am High-Rad jedoch zu einer Verstärkung der Gierbewegung des Fahrzeugs. Das bekannte Verfahren hat  
15 somit den Nachteil, dass es den Fahrzustand des Fahrzeugs in möglichen Fahrsituationen destabilisieren könnte.

Der Erfindung liegt daher die Aufgabe zugrunde, das Bremsverhalten eines Fahrzeugs bei einer Bremsung auf einer inhomogenen Fahrbahn zu verbessern und gleichzeitig die Fahrstabilität des Fahrzeugs zuverlässig zu gewährleisten  
20

Erfindungsgemäß wird diese Aufgabe durch ein Verfahren nach dem Patentanspruch 1 gelöst.  
25

Erfindungsgemäß wird diese Aufgabe zudem durch eine Vorrichtung nach dem Patentanspruch 20 gelöst.

Zweckmäßige Weiterbildungen des Verfahrens und der Vorrichtung sind Gegenstand der Unteransprüche.  
30

Die Erfindung sieht vor, dass ein Verfahren zum Regeln eines Bremsdrucks in wenigstens einer an einer Fahrzeugachse ange-

brachten Radbremse, während eines Bremsvorgangs auf einer Fahrbahn mit inhomogenem Reibwert, so durchgeführt wird, dass

- eine Niedrigreibwertseite und/oder eine Hochreibwertseite eines Fahrzeugs erkannt wird,
  - 5 - ein Stabilitätsindex gebildet wird, der den Fahrzustand des Fahrzeugs repräsentiert,
  - der Stabilitätsindex anhand der Niedrigreibwertseite und/oder der Hochreibwertseite bewertet wird, und
  - der Bremsdruck in wenigstens einer Radbremse in Abhängig-  
10 keit des Wertes des Stabilitätsindex' und in Abhängigkeit eines Ergebnisses der Bewertung des Stabilitätsindex' anhand der Niedrigreibwertseite und/oder der Hochreibwertseite verändert wird.
- 15 Das Verfahren hat den Vorteil, dass festgestellt wird, auf welcher Fahrzeuglängsseite die Niedrig- bzw. die Hochreibwertseite liegt, und eine anschließende Bewertung des Stabilitätsindex' anhand der Niedrigreibwertseite erfolgt. Hierdurch wird es möglich zu bewerten, ob eine Veränderung des
- 20 Bremsdrucks in einer Radbremse und insbesondere eine Druckerhöhung in der Radbremse des High-Rades der Hinterachse zu einer Verstärkung einer Gierbewegung des Fahrzeugs in Richtung der Hochreibwertseite und damit zu einer Destabilisierung des Fahrzustandes des Fahrzeugs führen könnte, oder ob eine sol-
- 25 che ungünstige Wirkung der Veränderung des Bremsdrucks in einer Radbremse nicht zu erwarten ist.

Somit wird es insbesondere möglich, den Bremsdruck in der Radbremse des High-Rades an der Hinterachse des Fahrzeugs in  
30 den Fahrsituationen zu erhöhen, in denen dies nicht zu einer Beeinträchtigung der Fahrzeugstabilität führt. In solchen Si-

tuationen kann die Bremsleistung anhand des erfindungsgemäßen Verfahrens wirkungsvoll erhöht werden.

Vorzugsweise wird die Veränderung des Bremsdrucks dabei einer  
5 ABS-Regelung überlagert. In einer vorteilhaften Ausführungsform der Erfindung ist es daher vorgesehen, dass eine ABS-Regelung für ein Rad auf der Niedrigreibwertseite durchgeführt wird, und dass eine Bremsdruckdifferenz zwischen den Bremsdrücken in der Radbremse auf der Hochreibwertseite und  
10 in der Radbremse auf der Niedrigreibwertseite bestimmt wird, wobei die Radbremsen vorzugsweise an einer Fahrzeugsachse angebracht sind.

Damit kann eine Select-Low-Regelung so modifiziert werden,  
15 dass der Bremsdruck an dem Hinterrad auf der Hochreibwertseite bei Vorliegen eines stabilen Fahrzustandes erhöht und damit der Bremsweg des Fahrzeugs verkürzt wird.

Vorteilhaft wird der Stabilitätsindex in Abhängigkeit eines  
20 Lenkwinkels an lenkbaren Rädern des Fahrzeugs und/oder einer Gierrate oder Gierratenabweichung des Fahrzeugs gebildet, um das Fahrzeugverhalten objektiv beurteilbar zu machen.

Damit können in dem Stabilitätsindex Größen berücksichtigt  
25 werden, die das Gierverhalten des Fahrzeugs wiedergeben bzw. direkt beeinflussen. Anhand der Bewertung des Stabilitätsindex erfolgt somit eine unmittelbare Bewertung des Gierverhaltens des Fahrzeugs.

30 In einer vorteilhaften Ausführungsform der Erfindung ist es dabei vorgesehen, dass der Stabilitätsindex anhand einer Abweichung zwischen einem momentanen Lenkwinkel und einem zum Beginn eines Bremsvorgangs auf einer Fahrbahn mit inhomogenem

Reibwert vorliegenden Lenkwinkel bestimmt wird.

Hierdurch kann anhand des Stabilitätsindex' ermittelt werden, ob der Fahrer des Fahrzeugs während eines Bremsvorgangs auf  
5 einer inhomogenen Fahrbahn gegenlenkt, um ein Giermoment zu erzeugen, welches dem Störgiermoment entgegenwirkt, das sich aufgrund der unterschiedlichen Bremskräfte auf der Hoch- und Niedrigreibwertseite ergibt und dessen Vorhandensein eine sichere Erhöhung des Bremsdrucks in der Radbremse des High-  
10 Rades ermöglicht.

In einer weiteren vorteilhaften Ausführungsform der Erfindung wird der Stabilitätsindex anhand einer Abweichung zwischen einer momentanen Gierrate des Fahrzeugs und einer anhand des  
15 zum Beginn des Bremsvorgangs vorliegenden Lenkwinkels in einem Fahrzeugmodell ermittelten Referenzgierrate bestimmt.

Die derart ermittelte Referenzgierrate repräsentiert dabei die dem Fahrerwunsch entsprechende Gierrate. Anhand der Ab-  
20 weichung zwischen der Referenzgierrate und der momentanen Gierrate des Fahrzeugs kann daher wiederum erkannt werden, ob der Fahrer geeignete Maßnahmen zur Kompensation des Störgiermoments ergriffen hat.

25 Mit besonderem Vorteil kann das erfindungsgemäße Verfahren in einem Fahrzeug durchgeführt werden, in dem ein Solllenkwinkel berechnet und - beispielsweise mittels einer Überlagerungslenkung oder einer Steer-by-Wire-Lenkung - unabhängig von der Fahrervorgabe eingestellt werden kann.

30

In einer bevorzugten Ausführungsform der Erfindung wird der Stabilitätsindex dabei in Abhängigkeit einer Abweichung zwischen einem von dem Fahrzeugbediener kommandierten Lenkwinkel

und einem an den lenkbaren Rädern des Fahrzeugs eingestellten Solllenkwinkel ermittelt und damit der Fahrzustand des Fahrzeug einer objektiven Bewertung zugänglich gemacht.

- 5 Der Solllenkwinkel enthält dabei vorzugsweise einen Steueranteil, der in Abhängigkeit des Störgiermoments in einem Fahrzeugmodell ermittelt wird.

Der Solllenkwinkel kann somit insbesondere so bestimmt werden, dass er ein das Störgiermoment kompensierendes Giermoment bewirkt.

Vorteilhaft enthält der Solllenkwinkel ebenfalls einen Regelanteil, der in Abhängigkeit der Gierratenabweichung zwischen der momentanen Gierrate des Fahrzeugs und einer Referenzgierrate bestimmt wird.

Hierdurch wird die Fahrzeugreaktion auf Lenkwinkeländerungen in dem Solllenkwinkel berücksichtigt, und dieser kann besonders sicher und zuverlässig eingestellt werden.

Damit kann die Kursvorgabe des Fahrers während einer Bremsung auf inhomogener Fahrbahn anhand des von ihm kommandierten Lenkwinkels ermittelt werden, während an den lenkbaren Rädern ein Lenkwinkel eingestellt wird, der den Fahrzustand des Fahrzeugs schnell und zuverlässig stabilisiert. Zur Anpassung der Bremsdrücke können der Fahrzustand und insbesondere das Gierverhalten des Fahrzeugs somit, wie bereits beschrieben, anhand der Abweichung zwischen dem von dem Fahrer kommandierten Lenkwinkel und dem Solllenkwinkel ermittelt und bewertet werden.

In einer weiteren bevorzugten Ausführungsform der Erfindung - die sich aus diesen Gründen ebenfalls insbesondere in Verbindung mit dem automatischen Einstellen eines Solllenkwinkels eignet - ist es vorgesehen, dass der Stabilitätsindex in Ab-  
5 hängigkeit einer Abweichung zwischen einer Gierrate des Fahrzeugs und einer anhand wenigstens einer von einem Fahrzeugbediener vorgegebenen Größe, vorzugsweise dem Lenkwinkel, in einem Fahrzeugmodell ermittelten Sollgierrate gebildet wird.

10 Es ist ebenfalls vorteilhaft, dass der Stabilitätsindex in Abhängigkeit einer Querschleunigung des Fahrzeugs ermittelt wird.

Weiterhin ist es vorteilhaft, dass der Stabilitätsindex in  
15 Abhängigkeit eines Schwimmwinkels und/oder einer Schwimmwinkelgeschwindigkeit ermittelt wird.

Zur Bewertung des Stabilitätsindex' anhand der Niedrigreibwertseite und/oder anhand der Hochreibwertseite ist es in einer bevorzugten Ausführungsform der Erfindung vorgesehen,  
20 dass ein Vorzeichen des Stabilitätsindex' in Abhängigkeit der Niedrigreibwertseite und/oder in Abhängigkeit der Hochreibwertseite ermittelt wird.

25 Durch eine derartige Wahl des Vorzeichens des Stabilitätsindex' ist bei der Anpassung der Bremsdrücke anhand des Stabilitätsindex' keine weitere Fallunterscheidung bezüglich der Niedrigreibwertseite und/oder der Hochreibwertseite mehr notwendig.

30

Der Bremsdruck wird hier vorzugsweise in Abhängigkeit eines Ergebnisses eines Vergleichs des Stabilitätsindex' mit wenigstens einem Schwellenwert verändert.



Eine vorteilhafte Ausführungsform der Erfindung zeichnet sich dabei dadurch aus, dass der Bremsdruck in der Radbremse auf der Hochreibwertseite gegenüber dem Bremsdruck in der Rad-  
5   bremse auf der Niedrigreibwertseite erhöht wird, wenn der Stabilitätsindex einen vorgegebenen Schwellenwert überschreitet.

Um die Fahrstabilität des Fahrzeugs dabei besonders zuverlässig zu gewährleisten, wird die Bremsdruckdifferenz zwischen  
10   dem Bremsdruck in der Radbremse auf der Niedrigreibwertseite und dem Bremsdruck in der Radbremse auf der Hochreibwertseite vorzugsweise begrenzt.

15   In einer vorteilhaften Ausführungsform der Erfindung erfolgt dabei eine Begrenzung der Bremsdruckdifferenz in Abhängigkeit einer Geschwindigkeit des Fahrzeugs.

Aufgrund der Eigendynamik eines Fahrzeugs hat es bei hohen  
20   Geschwindigkeiten eine größere Neigung zu einem instabilen Fahrverhalten und deshalb wird bei hohen Geschwindigkeiten dabei vorzugsweise nur eine geringe oder keine Bremsdruckdifferenz zugelassen, um entsprechend der Select-Low-Regelung ein hohes Seitenkraftpotenzial bzw. eine hohe Seitenkraftreserve  
25   an der Hinterachse vorzuhalten.

In einer ebenfalls vorteilhaften Ausführungsform der Erfindung wird zudem keine Veränderung des Bremsdrucks zugelassen, wenn die Niedrigreibwertseite und/oder die Hochreibwertseite  
30   wechselt, da ein Wechsel der Niedrig- bzw. Hochreibwertseite häufig zu instabilen Fahrzuständen führt. Die dabei angeforderte Bremsdruckdifferenz gleich null, wird solange aufrecht erhalten, bis durch den Stabilitätsindex wieder objektiv sta-

biles Fahrverhalten angezeigt wird. Danach ist abhängig vom Stabilitätsindex auch ein erneuter Druckaufbau wieder möglich.

5 In einer weiteren vorteilhaften Ausführungsform der Erfindung wird eine Bremsdruckdifferenz an der Hinterachse auf einen vorbestimmten Anteil der anhand einer ABS-Regelung eingestellten Bremsdruckdifferenz und/oder Bremsdruckverhältnis an der Vorderachse begrenzt.

10

Die ABS-Regelung berücksichtigt die an der Vorderachse vorliegenden Reibwertverhältnisse, die somit - bei Vorwärtsfahrt - für die Hinterachse antizipiert werden können, die diese Verhältnisse zeitlich verzögert erreicht.

15

Das anhand der bekannten Select-Low-Regelung an der Hinterachse sichergestellte Seitenkraftpotenzial bietet insbesondere in Kurvenfahrten eine erhöhte Sicherheit bei der Stabilisierung des Fahrzeugs und bei der Kursführung.

20

In einer vorteilhaften Ausführungsform der Erfindung ist es daher vorgesehen, dass eine Veränderung des Bremsdrucks nur dann vorgenommen wird, wenn eine Geradeausfahrt des Fahrzeugs ermittelt wird.

25

Bei einer Kurvenfahrt kann dann die konventionelle ABS-Regelung durchgeführt werden, die, wenngleich sie mit einem längeren Bremsweg verbunden ist, eine besonders hohe Spurstabilität des Fahrzeugs sicherstellt. Bei erkannter Kurvenfahrt ist eine Aufweichung von Select-Low aber auch vorstellbar. Die Druckaufbauten sollten aber mit einem geringeren Gradienten erfolgen und die Bremsdruckdifferenz bzw. das Bremsdruckverhältnis zw. Hochreibwert- und Niedrigreibwertrad sollte

30

stärker begrenzt werden, um dem Fahrzeug ausreichend Seitenkraftreserve für die Kurvenfahrt zur Verfügung zu stellen.

Die Erfindung stellt zudem eine Vorrichtung zur Durchführung  
5 des Verfahrens bereit. Dabei handelt es sich um eine Vorrichtung zum Regeln einer Bremsdruckdifferenz zwischen einem Bremsdruck in einer Radbremse auf einer Niedrigreibungwertseite und einer Radbremse auf einer Hochreibungwertseite eines Fahrzeugs während eines Bremsvorgangs auf einer Fahrbahn mit einem inhomogenen Reibwert, mit  
10

- einem Erkennungsmittel zum Erkennen der Niedrigreibungwertseite und/oder der Hochreibungwertseite,
- einem Bestimmungsmittel zum Bestimmen eines Stabilitätsindex', der einen Fahrzustand des Fahrzeugs repräsentiert,
- 15 - einem Bewertungsmittel zum Bewerten des Stabilitätsindex' anhand der in dem Erkennungsmittel erkannten Niedrigreibungwertseite und/oder Hochreibungwertseite und
- einem Berechnungsmittel zum Ermitteln der Bremsdruckdifferenz in Abhängigkeit eines Wertes des Stabilitätsindex und  
20 eines Ergebnis der Bewertung des Stabilitätsindex' anhand der Niedrigreibungwertseite und/oder der Hochreibungwertseite.

Weitere Vorteile, Besonderheiten und zweckmäßige Weiterbildungen der Erfindung ergeben sich aus den Unteransprüchen und  
25 der nachfolgenden Darstellung bevorzugter Ausführungsbeispiele anhand der Figuren.

Von den Figuren zeigt

30 Fig. 1 ein Blockschaltbild eines Lenkwinkelreglers,

- Fig. 2 ein Blockschaltbild eines Blocks des in der Figur 1 dargestellten Lenkwinkelreglers, in dem ein Steueranteil eines Zusatzlenkwinkels bestimmt wird,
- 5 Fig. 3 ein Blockschaltbild eines Blocks des in der Figur 1 dargestellten Lenkwinkelreglers, in dem ein Regelanteil des Zusatzlenkwinkels bestimmt wird,
- Fig. 4 ein Blockschaltbild eines Regelsystems zur Modifizierung der Select-Low-Regelung,
- 10 Fig. 5 ein Ablaufdiagramm für ein Verfahren zum Bestimmen einer Bremsdruckdifferenz und
- 15 Fig. 6 ein Ablaufdiagramm für ein Verfahren zum Limitieren der Bremsdruckdifferenz.

Es wird beispielhaft von einem zweiachsigen, vierrädrigen Fahrzeug ausgegangen, das über eine hydraulische Bremsanlage verfügt, die so ausgelegt ist, das eine ABS-Regelung zur Regelung des Radschlupfes an den Rädern des Fahrzeugs durchgeführt werden kann. Insbesondere verfügt das Fahrzeug dabei über die dafür notwendige, dem Fachmann bekannte Sensorik, wie beispielsweise über Raddrehzahl- und Bremsdrucksensoren,

20 über Aktuatoren, wie beispielsweise eine steuerbare Druckversorgung und steuerbare Ventile an den Radbremszylindern sowie über eine oder mehrere Steuergeräte zur Steuerung der Aktuatoren.

30 Die Erfindung kann jedoch in einfacher Weise ebenfalls auf Fahrzeuge mit anderen Bremsanlagen, wie beispielsweise elektrischen oder pneumatischen Bremsanlagen, übertragen werden.

Vorzugsweise verfügt das Fahrzeug darüber hinaus über ein Lenksystem, in dem der von dem Fahrer kommandierte Lenkwinkel  $\delta_{DRV}$  mit einem Zusatzlenkwinkel  $\Delta\delta$  überlagert werden kann. Dabei kann das Fahrzeug mit einer so genannten Überlagerungslenkung ausgestattet sein, bei der ein in den Lenkstrang eingesetztes Planetengetriebe die Überlagerung der Lenkbewegungen des Fahrers mit zusätzlichen Lenkbewegungen ermöglicht. Gleichfalls kann eine so genannte Steer-by-Wire-Lenkung eingesetzt werden. Es ist dabei auch möglich eine Vorrichtung zur aktiven Beeinflussung der Hinterräder zu verwenden (aktive Hinterradlenksysteme wie beispielsweise elektromechanische Hinterradlenksysteme oder aktiv ansteuerbare Hinterachslager zur Erzeugung von Hinterradlenkwinkeln).

Ein derart ausgerüstetes Fahrzeug ermöglicht es, während einer so genannten  $\mu$ -Split-Bremmung, d.h. einem Bremsvorgang auf einer Fahrbahn mit inhomogenem Reibwert, anhand eines Zusatzlenkwinkels  $\Delta\delta$  einen Solllenkwinkel  $\delta_{Soll}$  einzustellen, der ein Giermoment bewirkt, welches das Störgiermoment  $M_Z$ , welches durch die unterschiedlichen Bremskräfte auf der Hochreibwert (high- $\mu$ )-Seite und der Niedrigreibwert (low- $\mu$ )-Seite verursacht wird, kompensiert. Das Fahrzeug kann so bei einer  $\mu$ -Split-Bremmung schnell und zuverlässig stabilisiert werden.

Dies gestattet es, in einer  $\mu$ -Split-Situation eine "aggressivere" Bremsdruckregelung anzuwenden. Insbesondere ist es dabei vorgesehen, eine Bremsdruckdifferenz  $\Delta p$  zwischen den Bremsdrücken in den Radbremszylindern an der Hinterachse einzustellen, bei welcher der Bremsdruck  $p_{High}$  in der Radbremse an dem Rad auf der Hochreibwertseite (High-Rad) gegenüber dem Bremsdruck  $p_{Low}$  in der Radbremse an dem Rad auf der Niedrigreibwertseite (Low-Rad) erhöht wird. Dies entspricht einer Modifizierung der eingangs erläuterten Select-Low-Regelung,

die eine raschere Verzögerung des Fahrzeugs bei einer  $\mu$ -Split-Bremung bewirkt.

5 Zur Erkennung einer  $\mu$ -Split-Situation wird dabei auf von Sensoren des Fahrzeugs gemessene und auf geschätzte Fahrdynamikgrößen sowie Bremsengrößen zugegriffen, die von einer Fahrdynamikregelung bereitgestellt werden können. Hierbei kann es sich um eine Gierratenregelung ESP (Electronic Stability Program) und/oder um ein Antiblockiersystem (ABS) handeln.

10

Ferner wird überprüft, ob es sich um eine  $\mu$ -Split-Bremung während einer Geradeausfahrt des Fahrzeugs oder während einer Kurvenfahrt handelt. Eine Geradeaus- bzw. Kurvenfahrt wird dabei insbesondere anhand der Gierrate  $\dot{\psi}$  des Fahrzeugs, die  
15 beispielsweise mit einem Gierratensensor gemessen werden kann, der Querschleunigung  $a_y$  des Fahrzeugs, die beispielsweise mit einem Querschleunigungssensor gemessen werden kann, sowie des von dem Fahrer an den lenkbaren Rädern des Fahrzeugs eingestellten Lenkwinkels  $\delta_{DRV}$  bestimmt.

20

Aus diesen Signalen wird dabei ermittelt, ob sich das Fahrzeug in einer Geradeausfahrt oder in einer Kurvenfahrt befindet. Eine Kurvenfahrt wird dabei beispielsweise dann erkannt, wenn Werte der vorgenannten Signale jeweils einen vorgegebenen Schwellenwert überschreiten, wobei anhand der Vorzeichen dieser Signale ermittelt werden kann, ob es sich um eine  
25 Rechts- oder um eine Linkskurve handelt. Die Erkennung einer Geradeausfahrt erfolgt entsprechend dann, wenn die Werte der genannten Signale kleiner als vorgegebene Schwellenwerte  
30 sind. Diese Signale können aber auch in Form eines Kurvenindex abgebildet werden (z.B. Kurvenindex =  $1/3 \cdot [K1 \cdot \text{Gierrate} + K2 \cdot \text{Lenkwinkel} + K3 \cdot \text{Querschleunigung}]$ ) und eine Erken-

nung einer Kurvenfahrt erfolgt dann, wenn dieser Kurvenindex einen Schwellwert für Kurvenfahrt überschreitet. Wenn der Kurvenindex den Schwellwert für Kurvenfahrt nicht überschreitet deutet dies auf eine Geradeausfahrt hin und entsprechend  
5 wird diese dann erkannt. Bei dem Schwellwert sollte eine Hysterese für den Übergang zwischen Kurvenfahrtbedingung und Geradeausbedingung berücksichtigt werden.

Ein Bremsvorgang auf einer inhomogenen Fahrbahn wird insbe-  
10 sondere anhand der Geschwindigkeit  $v$  des Fahrzeugs sowie anhand von Radgeschwindigkeiten  $v_i$  und Bremsdrücken  $p_i$  in den Radbremsen am rechten Vorderrad ( $i = vr$ ), am linken Vorderrad ( $i = vl$ ), am rechten Hinterrad ( $i = hr$ ) und am linken Hinterrad ( $i = hl$ ) erkannt.

15

Es kann dabei ein Längsschlupf  $\lambda$  des Rades  $i$  durch einen Vergleich der Radgeschwindigkeit  $v_i$  und der Fahrzeuggeschwindigkeit  $v$  ermittelt werden, der angibt, in welchem Maß das Rad zum Blockieren neigt. Eine analoge Erkennung der Fahrsituati-  
20 on und insbesondere des Längsschlupfes  $\lambda$  eines Rades wird zur Aktivierung einer ABS-Regelung durchgeführt, die das Blockieren eines Rades durch ein Halten oder Absenken des Bremsdrucks  $p_i$  verhindert.

25 Zur Erkennung einer  $\mu$ -Split-Bremssung und zur Aktivierung der Lenkwinkelregelung sowie der Bestimmung der Bremsdruckdifferenz  $\Delta p$  an der Hinterachse können somit die im Folgenden beschriebenen Regeln verwendet werden. Diese beruhen dabei auch auf der eingangs bereits dargestellten ABS-Regelstrategie der  
30 Giermomentbegrenzung an der Vorderachse und der Select-Low-Regelung an der Hinterachse.

Ein Beginn einer  $\mu$ -Split-Bremmung wird während einer Geradeausfahrt erkannt, wenn eine der folgenden Bedingungen erfüllt ist:

- 5 a) Ein Vorderrad ist für eine vorbestimmte Zeitdauer in einer ABS-Regelung, während das andere Vorderrad nicht in der ABS-Regelung ist.
- b) Beide Vorderräder sind in der ABS-Regelung und eine Differenz der Bremsdrücke  $p_i$  an den Vorderrädern überschreitet einen vorbestimmten Schwellenwert.
- 10 c) Beide Vorderräder sind für eine vorbestimmte Zeitdauer in einer ABS-Regelung, ein ABS-Blockierdruck an wenigstens einem Vorderrad überschreitet einen vorbestimmten Schwellenwert und der ABS-Blockierdruck an einem Vorderrad beträgt ein vorbestimmtes Vielfaches des Blockierdrucks des  
15 anderen Vorderrades.

Eine Beendigung einer  $\mu$ -Split-Bremmung wird während einer Geradeausfahrt erkannt, wenn eine der folgenden Bedingungen erfüllt ist:

- 20 a) Es ist kein Vorderrad in der ABS-Regelung.
- b) Der ABS-Blockierdruck an beiden Vorderrädern ist während einer vorbestimmten Zeitdauer geringer als ein vorgegebener Schwellenwert.
- c) Der ABS-Blockierdruck eines Vorderrades beträgt weniger  
25 als ein vorbestimmtes Vielfaches des ABS-Blockierdrucks des anderen Vorderrades.

Während einer Kurvenfahrt wird der Beginn einer  $\mu$ -Split-Bremmung erkannt, wenn eine der folgenden Bedingungen erfüllt  
30 ist:

- a) Das kurvenäußere Rad kommt zeitlich vor dem kurveninneren Rad in eine ABS-Regelung.



- b) Beide Vorderräder sind für eine vorbestimmte Zeitdauer in der ABS-Regelung und mindestens ein Vorderrad weist einen ABS-Blockierdruck auf, der einen vorbestimmten Schwellenwert überschreitet, und der ABS-Blockierdruck am kurveninneren Vorderrad beträgt wenigstens ein vorbestimmtes Vielfaches des ABS-Blockierdrucks des kurvenäußeren Vorderrades.

Die Beendigung einer  $\mu$ -Split-Bremsung wird während einer Kurvenfahrt erkannt, wenn eine der folgenden Bedingungen erfüllt ist:

- a) Es ist kein Vorderrad in der ABS-Regelung.  
b) Der ABS-Blockierdruck beider Vorderräder ist während einer vorbestimmten Zeitdauer geringer als ein vorbestimmter Schwellenwert.  
c) Der ABS-Blockierdruck an dem kurveninneren Vorderrad ist geringer als ein vorgegebenes Vielfaches des ABS-Blockierdrucks an dem kurvenäußeren Vorderrad.

- Die Aktivierung der Lenkwinkelregelung erfolgt anhand eines Aktivierungssignals, wenn dieses den Wert 1 annimmt.

Bei einem Zündungsneustart wird dieses Aktivierungssignal auf den Wert 0 gesetzt. Eine Änderung auf den Wert 1 wird insbesondere dann vorgenommen, wenn wie vorbeschrieben eine  $\mu$ -Split-Bremsung erkannt wird.

Vorzugsweise müssen jedoch ebenfalls eine oder mehrere zusätzliche Bedingungen erfüllt sein, damit das Aktivierungssignal den Wert 1 annimmt. Derartige Bedingungen werden beispielsweise ebenfalls zur Aktivierung einer bestimmten ABS-Regestrategie untersucht, wie beispielsweise einer Giermo-

mentaufbauverzögerung an der Vorderachse oder einer Select-Low-Regelung an der Hinterachse.

Beispielsweise wird das Aktivierungssignal dann auf den Wert  
5 1 gesetzt, wenn zusätzlich eine Differenz des Reibwertes  $\mu$   
für rechts- und linksseitige Räder, die in einem ABS-Regler  
geschätzt wird, einen vorgegebenen Schwellenwert überschreitet.  
Ferner können die Ergebnisse einer Fahrsituationserkennung,  
die in einem ABS- und/oder ESP-System ermittelt wurden,  
10 bei der Aktivierung der Lenkwinkelregelung berücksichtigt  
werden.

Das Aktivierungssignal wird von dem Wert 1 auf den Wert 0 zurückgesetzt,  
wenn die Beendigung einer  $\mu$ -Split-Bremmung erkannt wird und eine  
oder mehrere der übrigen berücksichtigten Bedingungen nicht mehr  
erfüllt sind. Bei Bedingungen, denen ein Vergleich einer Größe mit  
einem Schwellenwert zugrunde liegt, werden dabei vorzugsweise  
andere Schwellenwerte verwendet als bei der Aktivierung zuvor,  
so dass die Regelung durch eine Hysterese beruhigt wird.  
20

Eine vorteilhafte Ausführungsform eines Lenkwinkelreglers 110  
zum Einstellen des Solllenkwinkels  $\delta_{soll}$  ist in dem Blockschaltbild  
in der Figur 1 dargestellt. Der Regler umfasst einen Block 120,  
in dem ein Zusatzlenkwinkel  $\Delta\delta_z$  bestimmt wird, der anhand eines  
geschätzten Wertes  $\hat{M}_z$  des Störgiermoments  $M_z$  ermittelt wird.  
Die Einstellung der Zusatzlenkwinkelanforderung  $\Delta\delta_z$  entspricht  
dabei einer Störgrößenaufschaltung anhand eines Steueranteils der  
Stellgröße zur Kompensation des Störgiermoments  $M_z$ .  
30 Zusätzlich ist ein Fahrzustandsregler 130 vorgesehen, der einen  
Regelanteil  $\Delta\delta_R$  des Zusatzlenkwinkels

$\Delta\delta$  bestimmt, in dem weitere Störungen und insbesondere die Fahrzeugreaktion berücksichtigt werden.

Der Zusatzlenkwinkel  $\Delta\delta$ , welcher dem von dem Fahrer eingestellten Lenkwinkel  $\delta_{DRV}$  überlagert wird, ergibt sich als Summe aus dem Steueranteil  $\Delta\delta_z$  und dem Regelanteil  $\Delta\delta_R$ .

Eine bevorzugte Ausführungsform des Blocks 120 zum Bestimmen des Steueranteils  $\Delta\delta_z$  des Zusatzlenkwinkels  $\Delta\delta$  ist in der Figur 2 dargestellt. Als Eingangssignale des Blocks 120 dienen der Lenkwinkel  $\delta_{WHL}$  an den lenkbaren Rädern des Fahrzeugs, die Bremsdrücke  $p_i$  an den Radbremsen, die Winkelgeschwindigkeiten  $\omega_i$  der Räder des Fahrzeugs sowie die Referenzgeschwindigkeit  $v$  des Fahrzeugs.

In dem Block 210 wird ein Störgiermoment  $M_z$  geschätzt, das durch die unterschiedlichen Bremskräfte  $F_{x,i}$  ( $i = vr, vl, hr, hl$ ) an den Rädern des Fahrzeugs in einer  $\mu$ -Split-Situation bewirkt wird.

Aus einer Gleichgewichtsbedingung für Drehmomente um die Hochachse des Fahrzeugs ergibt sich dabei:

$$M_z = \cos(\delta_{WHL}) \cdot [s_l \cdot F_{x,vl} - s_r \cdot F_{x,vr}] - \sin(\delta_{WHL}) \cdot l_v \cdot [F_{x,hl} - F_{x,hr}] + s_l \cdot F_{x,hl} - s_r \cdot F_{x,hr}$$

Hierbei bezeichnet  $s_l$  den Abstand zwischen dem Schwerpunkt des Fahrzeugs und dem linken Radaufstandspunkt in Fahrzeugquerrichtung,  $s_r$  den Abstand zwischen dem Schwerpunkt des Fahrzeugs und dem rechten Radaufstandspunkt in Fahrzeugquerrichtung und  $l_v$  den Abstand zwischen dem Schwerpunkt des Fahrzeugs und der Vorderachse in Fahrzeuglängsrichtung.

In einer vorteilhaften Ausführungsform der Erfindung wird ein Blockieren der Räder des Fahrzeugs durch eine ABS-Regelung verhindert. Es kann somit von einem linearen Zusammenhang zwischen den Bremskräften  $F_{x,i}$  an den Rädern und den Bremsdrücken  $p_i$  in den Radbremsen ausgegangen werden, so dass die  
5 Bremskräfte  $F_{x,i}$  anhand der folgenden Beziehung bestimmt werden:

$$F_{x,i} = K_{pi} \cdot p_i \quad (i = vr, vl, hr, hl)$$

10 Die Proportionalitätskonstanten  $K_{pi}$  werden dabei beispielsweise in Fahrversuchen bestimmt, können aber auch aus den Bremsenparametern wie beispielsweise Bremsenreibwert, effektiver Bremsscheibenradius und Bremskolbendurchmesser bestimmt werden und werden in dem Block 210 gespeichert.

15 Selbstverständlich können zur Bestimmung der Bremskräfte  $F_{x,i}$  ebenfalls Sensoren, wie beispielsweise Seitenwandtorsionssensoren oder Messfelgen, eingesetzt werden, welche die Bremskräfte  $F_{x,i}$  direkt messen.

20 Anhand des Schätzwertes  $\hat{M}_z$  für das Störgiermoment  $M_z$ , welcher von dem Block 210 an den Block 220 übergeben wird, wird der Steueranteil  $\Delta\delta_z$  des Zusatzlenkwinkels  $\Delta\delta$  in einem inversen Fahrzeugmodell bestimmt, wobei vorzugsweise ein lineares Einspurmodell zugrunde gelegt und der Zusammenhang  
25 zwischen Störgiermoment  $M_z$  und Lenkwinkel für einen stationären Fahrzustand linearisiert wird.

Der Steueranteil  $\Delta\delta_z$  wird dabei durch eine Multiplikation des  
30 Störgiermoments  $M_z$  mit einem Verstärkungsfaktor  $K_M$  ermittelt:

$$\Delta\delta_z = K_M \cdot M_z$$

Es hat sich dabei gezeigt, dass dieser Zusammenhang Abhängigkeiten von der Fahrzeuggeschwindigkeit  $v$  und den Bremsdrücken  $p_i$  aufweist. Infolgedessen wird der Verstärkungsfaktor  $K_M$  adaptiv in Abhängigkeit dieser Größen, beispielsweise anhand  
5 von Kennlinien bestimmt, die in Fahrversuchen ermittelt werden und es gilt.

$$\Delta\delta_z = K_M(v, \{p_i\}) \cdot M_z$$

Es hat sich ferner gezeigt, dass die Bremsdrücke  $p_{hr}$  und  $p_{hl}$   
10 in den Radbremsen der Hinterachse nur einen geringen Einfluss haben. Ferner können die Bremsdrücke  $p_{vr}$  und  $p_{vl}$  in den Radbremsen der Vorderachse zusammengefasst werden. In einer bevorzugten Ausführungsform des Blocks 220 kann der Zusatzlenkwinkelanteil  $\Delta\delta_z$  daher anhand einer Beziehung der folgenden  
15 Form bestimmt werden:

$$\Delta\delta_R = K_M\left(v, \frac{p_{vl} + p_{vr}}{2}\right) \cdot M_z \quad (4)$$

Wie bereits erläutert, ist es anhand des Zusatzlenkwinkelanteils  $\Delta\delta_z$  nicht in jeder Fahrsituation möglich, das Störgiermoment ideal zu kompensieren, da dieses sich möglicherweise  
20 mit anderen Störungen überlagert und Ungenauigkeiten bei der Schätzung des Störgiermoments  $M_z$  bestehen können (Parametrungenauigkeiten schlagen sich dabei aufgrund des Charakters einer Störgrößenkompensation als reine Steuerung direkt im  
25 Stellsignal als Stellfehler durch). Diese resultieren beispielsweise aus Ungenauigkeiten bei der Bestimmung der Bremsdrücke  $p_i$  in den Radbremsen oder aus Veränderungen des Reibungskoeffizienten der Bremsbeläge, die aufgrund veränderter Betriebsbedingungen, wie beispielsweise einer veränderten Be-  
30 triebstemperatur oder aufgrund einer zunehmenden Betriebsdauer auftreten können.

Daher wird der Störgrößenaufschaltung in dem Block 120, wie in Figur 1 dargestellt, eine Fahrzustandsregelung in dem Block 130 überlagert. In dem Block 130 wird, abhängig von Fahrzustandsgrößen, wie beispielsweise der Gierrate  $\dot{\psi}$  des  
 5 Fahrzeugs und optional zusätzlich auch von der Querbeschleunigung  $a_y$  oder dem Schwimmwinkel  $\beta$  des Fahrzeugs, ein Regelanteil  $\Delta\delta_R$  des Zusatzlenkwinkels  $\Delta\delta$  bestimmt. Eine bevorzugte Ausführungsform des Blocks 130 ist dabei in der Figur 3 als Blockschaltbild dargestellt.

10

Der Regelanteil  $\Delta\delta_R$  basiert insbesondere auf dem Gierverhalten des Fahrzeugs. Zur Auswertung des Gierverhaltens wird in dem Block 310 in einem Fahrzeugmodell eine Referenzgierrate  $\dot{\psi}_{ref}$  anhand des von dem Fahrer kommandierten Lenkwinkels  $\delta_{DRV}$   
 15 und anhand der Fahrzeuggeschwindigkeit  $v$  ermittelt. Dies geschieht unter Verwendung eines Referenzmodells des Fahrzeugs, wobei beispielsweise ein lineares Einspurmodell zugrunde gelegt wird. In einer vorteilhaften Ausgestaltung wird dabei ein Fahrzeugmodell gewählt, welches einen Schätzwert  $\hat{\mu}$  für  
 20 den (mittleren) Fahrbahnreibungwert  $\mu$ , der beispielsweise anhand der gemessenen Querbeschleunigung  $a_y$  bestimmt werden kann, berücksichtigt. Damit geht auch das verbleibende Reibwertpotenzial in die Referenzgierrate  $\dot{\psi}_{ref}$  ein.

25 Zur Bestimmung des Zusatzlenkwinkelanteils  $\Delta\delta_R$  wird ein adaptiver Fahrzustandsregler 320 verwendet, der vorzugsweise als Proportional-Differenzial-Regler (PD-Regler) ausgebildet ist. Der Zusatzlenkwinkelanteil  $\Delta\delta_R$  ergibt sich dabei als Summe aus einem P-Anteil  $\Delta\delta_{R,P}$  und einem D-Anteil  $\Delta\delta_{R,D}$ :

30

$$\Delta\delta_R = \Delta\delta_{R,P} + \Delta\delta_{R,D}.$$

Die Regelgröße für den P-Anteil  $\Delta\delta_{R,P}$  ist die Gierratenabweichung  $\Delta\dot{\psi}$ . Für den aus dem P-Anteil resultierenden Lenkanforderungsanteil gilt das Regelgesetz

$$\Delta\delta_{R,P} = K_{FB,P}(v) \cdot \Delta\dot{\psi}.$$

5

Die Gierratenabweichung  $\Delta\dot{\psi}$  ist dabei als Differenz zwischen der gemessenen Gierrate  $\dot{\psi}$  des Fahrzeugs und der Referenzgierrate  $\dot{\psi}_{ref}$  definiert:

$$\Delta\dot{\psi} = \dot{\psi} - \dot{\psi}_{ref}.$$

10

Die Gierrate des Fahrzeugs  $\dot{\psi}$  wird direkt mit einem Gierratensensor gemessen. Der Gierratensensor ist mit einem Querbeschleunigungssensor in einen Sensorcluster integriert, in welchem sowohl die Gierrate  $\dot{\psi}$  sowie auch die Querbeschleunigung  $a_y$  mit redundanten Sensorelementen gemessen werden.

15

Der Verstärkungsfaktor  $K_{FB,P}(v)$  für die Reglerrückführung der Gierratenabweichung  $\Delta\dot{\psi}$  wird über der aktuellen Fahrzeuggeschwindigkeit  $v$  adaptiert. Da die Fahrzeuggeschwindigkeit das Fahrverhalten des Fahrzeugs wesentlich beeinflusst, wird dies in der Reglerverstärkung und somit auch im über den Regler geschlossenen Regelkreis des Fahrzeugs berücksichtigt.

20

Die Regelgröße für den D-Anteil  $\Delta\delta_{R,D}$  des Zusatzlenkwinkelanteils  $\Delta\delta_R$  ist eine Gierbeschleunigungsabweichung  $\Delta\ddot{\psi}$ . Für den aus dem D-Anteil resultierenden Lenkanforderungsanteil gilt das Regelgesetz

25

$$\Delta\delta_{R,D} = K_{FB,D}(v) \cdot \Delta\ddot{\psi}.$$

Die Gierbeschleunigungsabweichung  $\Delta\ddot{\psi}$  wird durch Differenziation der Gierratenabweichung  $\Delta\dot{\psi}$  ermittelt:

$$\Delta\ddot{\psi} = \frac{d}{dt} \Delta\dot{\psi} = \frac{d}{dt} (\dot{\psi} - \dot{\psi}_{ref})$$

- 5 Die Gierbeschleunigungsabweichung  $\Delta\ddot{\psi}$  basiert somit auf den gleichen Signalquellen wie die Gierratenabweichung  $\Delta\dot{\psi}$  und wird aus dieser mittels eines Differenziergliedes bestimmt.

Der Verstärkungsfaktor  $K_{FB,D}(v)$  für die Reglerrückführung der  
10 Gierbeschleunigungsabweichung  $\Delta\ddot{\psi}$  wird über die Fahrzeuggeschwindigkeit  $v$  adaptiert. Da die Fahrzeuggeschwindigkeit  $v$  das Fahrverhalten des Fahrzeugs wesentlich beeinflusst, wird dies in der Reglerverstärkung und somit auch im über den Regler geschlossenen Regelkreis des Fahrzeugs berücksichtigt.

- 15 Eine zu der dargestellten Gierratenregelung analoge Regelung kann ebenfalls zusätzlich für die Querbeschleunigung  $a_y$  und/oder den aus mehreren Fahrzustandsgrößen geschätzten Schwimmwinkel  $\beta$  des Fahrzeugs vorgenommen werden. Regelgrößen  
20 sind dabei dann eine Abweichung zwischen der Querbeschleunigung  $a_y$  des Fahrzeugs und einer Referenzquerbeschleunigung  $a_{y,ref}$  bzw. eine Abweichung zwischen dem geschätzten Schwimmwinkel  $\hat{\beta}$  des Fahrzeugs und einem Referenzschwimmwinkel  $\beta_{ref}$ , wobei die Referenzquerbeschleunigung  $a_{y,ref}$  sowie der Referenzschwimmwinkel  $\beta_{ref}$  beispielsweise durch entsprechende  
25 Schwellenwerte vorgegeben werden können. Die entsprechenden Referenzgrößen für die Querbeschleunigung bzw. den Schwimmwinkel werden aber vorzugsweise modellbasiert aus den Fahrervorgaben bestimmt (z.B. Einspurmodell).



Bei einer zusätzlichen Berücksichtigung der Querbeschleunigung  $a_y$  und/oder des Schwimmwinkels  $\beta$  werden, vorzugsweise durch P-Regler oder durch PD-Regler, entsprechende Anteile des Zusatzlenkwinkelanteils  $\Delta\delta_R$  in dem Regler 320 ermittelt  
5 und nachfolgend einer Arbitrierung unterzogen.

Der Steueranteil  $\Delta\delta_z$  und der Regelanteil  $\Delta\delta_R$  werden in einem Addierer addiert, und die sich als Summe der beiden Anteile ergebende Zusatzlenkwinkelstellanforderung  $\Delta\delta$  wird an eine  
10 Steuereinheit des in den Lenkstrang eingesetzten Aktuators, beispielsweise an eine Steuereinheit einer Überlagerungslenkung, übermittelt, und von dem Aktuator eingestellt.

Der Lenkwinkel  $\delta_{WHL}$  an den lenkbaren Rädern des Fahrzeugs ergibt sich damit als Summe aus dem von dem Fahrer kommandierten Lenkwinkel  $\delta_{DRV}$  und dem Zusatzlenkwinkel  $\Delta\delta$ :  
15

$$\delta_{WHL} = \delta_{DRV} + \Delta\delta$$

Die Bestimmung des zur Stabilisierung benötigten Lenkwinkels  $\delta_{WHL}$  und das Einstellen des Lenkwinkels bei einer  $\mu$ -Split-Bremse  
20 geschehen dabei viel schneller als ein Durchschnittsfahrer die entsprechende Situation erkennen und per Gegenlenken darauf reagieren kann. Diese schnelle Reaktion des Regelsystems und des aktiven Lenksystems ermöglichen es,  
25 das elektronische Bremssystem ABS derart anzupassen, dass an den einzelnen Rädern (besonders auf der Hochreibwertseite) das Reibwertpotential besser ausgenutzt werden kann.

Hierzu werden die Regelstrategien des ABS bei einer  $\mu$ -Split-Bremse  
30 modifiziert:

Die Giermomentaufbauverzögerung an der Vorderachse wird stark abgeschwächt, so dass sich an der Vorderachse schneller ein großer Druckunterschied zwischen dem High-Rad und dem Low-Rad aufbaut, d.h. an dem High-Rad wird ein hoher Druckaufbaugradient eingestellt.

Nahezu gleichzeitig zum Aufbau des Druckunterschieds entsteht ein Giermoment um die Fahrzeughochachse. Aufgrund der Schätzung des Störgiermoments  $M_z$  aus der Bremsdruckinformation oder mit Hilfe von direkt die Reifenkräfte messenden Systemen wird vom Regelsystem sofort gegengelenkt, noch bevor der Fahrer die Situation am Gierverhalten des Fahrzeugs erkennen kann.

Insbesondere wird ebenfalls die Select-Low-Regelung des ABS an der Hinterachse des Fahrzeugs modifiziert. Die Modifizierung entspricht dabei einer "Aufweichung" der Select-Low-Regelung, bei der eine Druckdifferenz  $\Delta p$  zwischen dem Bremsdruck  $p_{High}$  an dem High-Rad und dem Bremsdruck  $p_{Low}$  an dem Low-Rad anhand eines Stabilitätsindex'  $S$  ermittelt wird.

In einer bevorzugten Ausführungsform der Erfindung wird dabei die Modifizierung der Select-Low-Regelung der durch den ABS-Regler vorgenommenen Select-Low-Regelung überlagert.

Dabei wird der Bremsdruck  $p_{Low}$  in der Radbremse des Low-Rades ausschließlich durch den ABS-Regler bestimmt, und der Bremsdruck  $p_{High}$  in der Radbremse des High-Rades anhand der zugelassenen Druckdifferenz  $\Delta p$  ermittelt.

Ein prinzipieller Aufbau eines Regelsystems 460 zur Modifizierung der Select-Low-Regelung ist in der Figur 4 als Blockschaltbild dargestellt. Die Eingangssignale für dieses System

werden durch den ABS-Regler und den vorbeschriebenen Lenkwin-  
kelregler bereitgestellt, die hier schematisch durch den  
Block 410 repräsentiert werden. Das Regelsystem verfügt über  
einen Block 420, der eine Logikschaltung zum Aktivieren der  
5 Regler-Funktion enthält, einen Block 430 zum Bestimmen der  
Druckdifferenz  $\Delta p_{Sellow,Req}$  und einen Block 440 zum Limitieren  
der Druckdifferenz  $\Delta p_{Sellow,Req}$ .

Die limitierte Druckdifferenz  $\Delta p_{Sellow,lim}$  entspricht der Stel-  
10 lanforderung  $\Delta p$  für den Bremsdruck, die durch einen Druckauf-  
bau, einen Druckabbau oder ein Halten des Drucks in der Rad-  
bremse des High Rades beispielsweise durch ein ABS-Steuerge-  
rät an der Hinterachse eingestellt wird.

15 Die Modifizierung der Select-Low-Regelung wird nur dann vor-  
genommen, wenn ein in dem Block 420 ermitteltes Sellow-Req-  
Bit den Wert 1 annimmt. Hat das Sellow-Req-Bit den Wert Null,  
wird keine Druckdifferenz  $\Delta p$  zwischen den Bremsdrücken in den  
Radbremsten an der Hinterachse zugelassen. Dies ist in der Fi-  
20 gur 4 schematisch anhand der Multiplikationsstelle 450 ver-  
deutlicht, die nur dann einen von Null verschiedenen Wert der  
limitierten Druckdifferenz  $p_{Sellow,lim}$  weitergibt, wenn das Sel-  
low-Req-Bit den Wert 1 annimmt.

25 Bei einem Zündungsneustart wird das Sellow-Req-Bit in dem  
Block 420 auf den Wert 0 gesetzt. Zum Aktivieren der Regler-  
funktion wird das Sellow-Req-Bit von dem Wert 0 auf den Wert  
1 gesetzt, wenn zumindest die folgenden Bedingungen erfüllt  
sind:

- 30 a) Eine  $\mu$ -Split-Bremsung wird erkannt.  
b) Eine Geradeausfahrt wird erkannt.  
c) Die Niedrigreibwertseite wird erkannt.

Die Erkennung der Niedrigreibwertseite erfolgt dabei zu Beginn einer  $\mu$ -Split-Bremung in dem Fahrzustands-Regler 410 anhand der Differenz zwischen Bremsdrücken in den Radbremsen auf der rechten und der linken Fahrzeuglängsseite. Dabei wird  
5 diejenige Fahrzeuglängsseite als Niedrigreibwertseite erkannt, auf die Bremsdrücke der Radbremsen um einen vorgegebenen Schwellenwert geringer sind als die Bremsdrücke auf der anderen Fahrzeuglängsseite.

10 Selbstverständlich kann es hier zusätzlich oder alternativ auch vorgesehen sein, die Hochreibwertseite in analoger Weise zu erkennen.

Das Sellow-Req-Bit wird von dem Wert 1 auf den Wert 0 zurück-  
15 gesetzt, wenn die vorgenannten Bedingungen nicht mehr erfüllt sind.

In einer bevorzugten Ausführungsform der Erfindung werden in dem Block 430 zum Bestimmen der Bremsdruckdifferenz  $\Delta p_{\text{Sellow,Req}}$   
20 die anhand des in der Figur 5 dargestellten Ablaufdiagramms verdeutlichten Schritte durchgeführt.

Die Druckdifferenz  $\Delta p_{\text{Sellow,Req}}$  gibt den Wert des Bremsdrucks an, um den der Bremsdruck  $p_{\text{High}}$  in der Radbremse des High-  
25 Rades gegenüber dem Bremsdruck  $p_{\text{Low}}$  in der Radbremse des Low-Rades erhöht ist. Der Bremsdruck  $p_{\text{Low}}$  wird in bekannter Weise anhand des Längsschlupfes  $\lambda$  des Low-Rades durch den ABS-Regler bestimmt. Eine Verringerung des Bremsdrucks  $p_{\text{High}}$  unter den Wert  $p_{\text{Low}}$  ist nicht vorgesehen.

Zunächst wird aus dem in dem Lenkwinkelregler 110 bestimmten Zusatzlenkwinkel  $\Delta\delta$  und der Gierratenabweichung  $\Delta\dot{\psi}$  eine Größe  $S^*$  berechnet:

$$S^* = K_1 \cdot \Delta\delta + K_2 \cdot \Delta\dot{\psi}$$

5

Die Verstärkungen  $K_1$  und  $K_2$  sind positiv und werden dabei beispielsweise in Fahrversuchen ermittelt.

10 Anhand der Größe  $S^*$  kann ermittelt werden, ob das Fahrzeug mit positiven Drehsinn (d.h. nach links) oder mit negativen Drehsinn (d.h. nach rechts) giert bzw. ob aufgrund eines positiven oder negativen Zusatzlenkwinkels  $\Delta\delta$  eine Gierbewegung mit positivem oder negativem Drehsinn zu erwarten ist. Anhand der Größe  $S^*$  kann aber auch erkannt werden, ob der Fahrer o-  
15 der ein den Fahrer unterstützendes Fahrerassistenzsystem in Richtung des Niedrigreibwerts gegengelenkt hat.

In weiteren Ausführungsformen der Erfindung ist es zudem vorgesehen zusätzlich eine anhand eines Faktors gewichtete Ab-  
20 weichung zwischen der gemessenen Querbeschleunigung  $a_y$  des Fahrzeugs und einer Referenzquerbeschleunigung  $a_{y,ref}$  und/oder eine Abweichung zwischen einem geschätzten Schwimmwinkel  $\beta$  des Fahrzeugs und einem Referenzschwimmwinkel  $\beta_{ref}$  als weitere Summanden in der Größe  $S^*$  zu berücksichtigen.

25

Die Referenzquerbeschleunigung  $a_{y,ref}$  und der Referenzschwimmwinkel  $\beta_{ref}$  können dabei beispielsweise anhand von Schwellenwerten vorgegeben werden. Die entsprechenden Referenzgrößen für die Querbeschleunigung bzw. den Schwimmwinkel werden aber  
30 vorzugsweise modellbasiert aus den Fahrervorgaben bestimmt (z.B. Einspurmodell).

Eine Bewertung der Größe  $S^*$  anhand der Niedrigreibwertseite (Low- $\mu$ -Seite) erfolgt anhand der Abfrage 510 und führt zur Bestimmung des Stabilitätsindex'  $S$ . Insbesondere ist es dabei vorgesehen, das Vorzeichen des Stabilitätsindex  $S$  in Abhän-  
5 gigkeit davon zu bestimmen, ob die Niedrigreibwertseite rechts oder links in Bezug auf die Fahrzeugs längsrichtung liegt, was anhand der Abfrage 510 festgestellt wird. Es gilt:

$$S = \begin{cases} S^*, & \text{falls die Niedrigreibwertseite links liegt} \\ -S^*, & \text{falls die Niedrigreibwertseite rechts liegt} \end{cases}$$

10 Anhand des Wertes des derart bestimmten Stabilitätsindex'  $S$  kann ermittelt werden, ob das Fahrzeug in Richtung der Niedrigreibwertseite giert (mit positivem/negativem Drehsinn, falls die Niedrigreibwertseite links/rechts liegt), oder ob das Fahrzeug in Richtung des Hochreibwerts giert (mit negati-  
15 vem/positivem Drehsinn, falls die Niedrigreibwertseite links/rechts liegt).

Dabei deutet ein positiver Wert von  $S$  darauf hin, dass das Fahrzeug in Richtung der Niedrigreibwertseite giert. Der  
20 Fahrzustand des Fahrzeugs in der  $\mu$ -Split-Situation ist bei einem positiven Wert des Stabilitätsindex'  $S$  stabil.

Ein negativer oder sehr kleiner positiver Wert von  $S$  deutet daraufhin, dass das Fahrzeug in Richtung der Hochreibwertsei-  
25 te giert und der Fahrzustand des Fahrzeugs durch die Lenkeingriffe somit noch nicht stabilisiert werden konnte.

Hier kann die Bewertung der Größe  $S^*$  selbstverständlich auch anhand der Hochreibwertseite vorgenommen werden. In analoger  
30 Weise zu der vorbeschriebenen Bewertung anhand der Niedrigreibwertseite wird dabei zur Bestimmung des Stabilitätsindex'

$S$  ein negatives Vorzeichen gesetzt, wenn die Hochreibwertseite links liegt.

Bei der Bestimmung der Druckdifferenz  $\Delta p_{Sellow,Req}$  wird zunächst  
5 - unabhängig von dem Wert des Stabilitätsindex'  $S$  - anhand  
der Abfrage 520 überprüft, ob das High-Rad an der Hinterachse  
eine Tendenz zum Blockieren aufweist. Diese Abfrage umfasst  
dabei einen Vergleich des Schlupfes  $\lambda$  des High-Rades mit ei-  
nem vorgegebenen Schwellenwert in dem Block 520. Übersteigt  
10 der Radschlupf  $\lambda$  des High-Rades den Schwellenwert, wird der  
Bremsdruck an diesem Rad in Abhängigkeit des Schlupfes  $\lambda$  ab-  
gebaut. Dabei unterschreitet der Bremsdruck  $p_{High}$  an dem High-  
Rad jedoch, entsprechend der Select-Low-Regelung des ABS-  
Systems, nicht den Wert  $p_{Low}$  des Bremsdrucks in der Radbremse  
15 des Low-Rades.

Zeigt das High-Rad keine Blockierneigung, wird in jedem Rege-  
lungszyklus eine Veränderung der Bremsdruckdifferenz  $\Delta p$  auf-  
grund einer Auswertung des Stabilitätsindex'  $S$  anhand der Ab-  
20 frage 530 ermittelt.

Übersteigt der Wert des Stabilitätsindex'  $S$  dabei einen vor-  
gegebenen positiven Schwellenwert  $pinc\_thr$ , dann wird eine  
Erhöhung der Druckdifferenz  $\Delta p$  und damit ein Druckaufbau in  
25 dem High-Rad vorgenommen. Der Druckaufbau führt in dieser Si-  
tuation nicht zu einer Destabilisierung des Fahrzeugs und  
dient einer Verkürzung des Bremswegs bei einer  $\mu$ -Split-Brem-  
sung mit einem stabilen Fahrzustand des Fahrzeugs.

30 Als Ausgangssignal des Blocks 430 ergibt sich in diesem Fall  
eine Bremsdruckdifferenz

$$\Delta p_{Sellow,Req} = \Delta p + \Delta x$$

die um einen vorgegebenen Wert  $\Delta x$  größer ist als die momentane Bremsdruckdifferenz  $\Delta p$ .

Wenn der Wert des Stabilitätsindex'  $S$  unterhalb eines vorgegebenen Schwellenwertes  $pdec\_thr$  liegt, so wird die Druckdifferenz  $\Delta p$  verringert und damit ein Druckabbau in dem High-Rad veranlasst. Eine Druckerhöhung würde in diesem Fall zu einer Verstärkung der Gierbewegung des Fahrzeugs in Richtung der Hochreibwertseite und somit zu einer Destabilisierung des Fahrzustandes führen. Der Druckabbau erhöht jedoch das Seitenkraftpotenzial an der Hinterachse und ermöglicht es dem Fahrer, bzw. dem Lenkwinkelregler 110 einem möglichen instabilen Fahrzustand wirkungsvoll entgegensteuern zu können.

Als Ausgangssignal des Blocks 430 ergibt sich hier eine Bremsdruckdifferenz

$$\Delta p_{Sellow,Req} = \Delta p - \Delta y$$

die um einen vorgegebenen Wert  $\Delta y$  kleiner ist als die momentane Bremsdruckdifferenz  $\Delta p$ . Der Wert  $\Delta y$  kann dabei dem Wert  $\Delta x$  entsprechen.

Falls der Wert des Stabilitätsindex'  $S$  zwischen den beiden Schwellenwerten  $pdec\_thr$  und  $pinc\_thr$  liegt, wird die Bremsdruckdifferenz  $\Delta p$  konstant gehalten. In diesem Fall liegt ein "grenzwertiger" Fahrzustand vor, der im nächsten Regelungszyklus erneut bewertet wird, um gegebenenfalls einen Druckabbau am High-Rad durchzuführen oder einen Druckaufbau zuzulassen.

Als Ausgangssignal des Blocks 430 ergibt sich in diesem Fall die Bremsdruckdifferenz

$$\Delta p_{Sellow,Req} = \Delta p$$



Die vorgenannten Schritte werden in dem Block 430 in jedem Regelungszyklus einmal durchgeführt, so dass sich ein gepulster Druckauf- bzw. abbau mit einem sich aus den Werten  $\Delta x$  bzw.  $\Delta y$  ergebenden Gradienten oder ein Halten des Bremsdrucks in dem High-Rad ergibt.

Vorzugsweise ist eine fahrsituationsabhängige Begrenzung der Bremsdruckdifferenz  $\Delta p_{\text{Sellow,Req}}$  vorgesehen. Eine bevorzugte Ausführungsform des Blocks 440 zur Limitierung der Bremsdruckdifferenz  $\Delta p_{\text{Sellow,Req}}$  ist dabei in der Figur 6 anhand eines Ablaufdiagramms dargestellt.

In dieser Ausführungsform erfolgt zunächst eine geschwindigkeitsabhängige Begrenzung in dem Schritt 610, wobei die Begrenzung beispielsweise anhand einer Kennlinie vorgenommen wird. Da das Fahrzeug bei hohen Geschwindigkeiten stärker zu Instabilitäten neigt, wird dabei bei hohen Geschwindigkeiten nur eine geringe oder überhaupt keine Druckdifferenz  $\Delta p$  zugelassen. Durch diese Begrenzung wird somit ein hohes Seitenkraftpotenzial an der Hinterachse als Stabilitätsreserve bei hohen Geschwindigkeiten vorgehalten.

Wird ein Wechsel der Niedrigreibwertseite anhand der Abfrage 620 festgestellt, so wird die Druckdifferenz  $\Delta p_{\text{Sellow,Req}}$  auf den Wert Null reduziert. Bei einem Wechsel der Niedrigreibwertseite besteht ein erhebliches Risiko dafür, dass instabile Fahrzustände auftreten. Um dem Fahrer bzw. den Lenkwinkelregler bei der Stabilisierung des Fahrzeugs zu unterstützen wird daher bei einem derartigen Wechsel auf die Select-Low-Regelung zurückgegriffen und zwar solange über den Stabilitätsindex nicht wieder objektiv stabiles Fahrverhalten signalisiert wird.

- In der Abfrage 630 wird die aktuelle Druckdifferenz an der Hinterachse ermittelt und mit der Druckdifferenz und/oder dem Druckverhältnis an der Vorderachse verglichen. In dem Schritt 5 640 erfolgt eine Begrenzung der Druckdifferenz und/oder des Druckverhältnis  $\Delta p_{\text{Sellow,Req}}$  an der Hinterachse auf einen Wert von beispielsweise 50% der Druckdifferenz und/oder des Druckverhältnis an der Vorderachse, wenn dieser überschritten ist.
- 10 Durch die ABS-Regelung werden die Bremsdrücke an der Vorderachse in Abhängigkeit der an den Vorderrädern vorliegenden Reibwerte eingestellt. Dabei berücksichtigt die Druckdifferenz an den Vorderrädern - bei Vorwärtsfahrt, von der hier ausgegangen wird - Reibwertverhältnisse die kurzzeitig später 15 auch an der Hinterachse vorliegen. Somit stellen sich die Bremsdrücke an der Vorderachse frühzeitig auf geänderte Reibwerte ein. Anhand der vorbeschriebenen Begrenzung der Druckdifferenz an der Hinterachse können diese Veränderung jedoch bereits durch das Regelsystem antizipiert werden.
- 20 Das Ausgangssignal des Blocks 440 zum Limitieren der Druckdifferenz  $\Delta p_{\text{Sellow,Req}}$  ist die limitierte Druckdifferenz  $\Delta p_{\text{Sellow,lim}}$  die der Stellanforderung für die Bremsdruckdifferenz  $\Delta p$  entspricht und durch eine Druckaufbau, einen Druckabbau 25 oder ein Halten des Bremsdrucks  $p_{\text{High}}$  in der Radbremse des High-Rades an der Hinterachse eingestellt wird. Dabei wird jedoch der Wert des Bremsdrucks  $p_{\text{Low}}$  in der Radbremse des Low-Rades in der Radbremse des High-Rades nicht unterschritten.
- 30 Bei der bislang anhand der Figuren dargestellten Ausführungsform der Erfindung wird davon ausgegangen, dass der Lenkwinkel, der ein das Störgiermoment  $M_z$  kompensierendes Giermoment

bewirkt und die Modifizierung der Select-Low-Regelung ermöglicht, durch den Lenkwinkelregler 110 eingestellt wird

Es ist jedoch gleichfalls möglich, eine analoge Modifizierung  
5 auch dann vorzunehmen, wenn der Fahrer gegenlenkt.

In dieser Ausführungsform der Erfindung wird die Größe  $S^*$  in veränderter Weise bestimmt. Dabei ist es vorgesehen, den von dem Fahrer zum Beginn der  $\mu$ -Split-Bremsung zum Zeitpunkt  $t_0$   
10 eingestellten Lenkwinkel  $\delta_{DRV}(t_0)$  sowie die anhand des Lenkwinkels zum Zeitpunkt  $t_0$  berechnete Referenzgierrate  $\dot{\psi}_{ref}(t_0)$  zu speichern, und die Größe  $S^*$  beispielsweise in der Form

$$S^* = \tilde{K}_1(\delta_{WHL} - \delta_{DRV}(t_0)) + \tilde{K}_2(\dot{\psi} - \dot{\psi}_{ref}(t_0))$$

zu bestimmen, wobei  $\tilde{K}_1$  und  $\tilde{K}_2$  vorgegebene Konstanten sind.  
15 Weitere Modifikationen sind nicht erforderlich.

Der Lenkwinkel  $\delta_{DRV}(t_0)$  bzw. die Gierrate  $\dot{\psi}_{ref}(t_0)$  repräsentieren dabei den Kurswunsch des Fahrers. Anhand eines Vergleichs dieser Werte mit momentanen Werten  $\delta_{WHL}$  des Lenkwinkels an den  
20 lenkbaren Rädern und der Gierrate  $\dot{\psi}$  des Fahrzeugs wird ermittelt, ob der Fahrer stabilisierende Maßnahmen, wie insbesondere ein Gegenlenken, eingeleitet hat, die eine Modifizierung der Select-Low-Regelung in der vorbeschriebenen Weise ermöglichen.

25

Ferner wurde bislang beschrieben, dass die Modifizierung der Select-Low-Regelung nur dann vorgenommen wird, wenn eine Geradeausfahrt des Fahrzeugs erkannt wird. Dies geschieht um die durch die Select-Low-Regelung gewährleistete Spurstabilität des Fahrzeugs nicht zu gefährden. Es ist jedoch gleichfalls möglich, die vorbeschriebene Modifizierung der Select-  
30

Low-Regelung in analoger Weise auch für eine Kurvenfahrt vorzunehmen. Dabei kann beispielsweise eine restriktivere Begrenzung der Bremsdruckdifferenz durchgeführt werden und/oder ein langsamerer Druckaufbau als bei Geradeausfahrt vorgesehen werden.

5

**Patentansprüche:**

1. Verfahren zum Regeln eines Bremsdrucks in wenigstens einer an einer Fahrzeugachse angebrachten Radbremsen, während eines Bremsvorgangs auf einer Fahrbahn mit inhomogenem Reibungskoeffizienten,

**d a d u r c h   g e k e n n z e i c h n e t,** dass

- eine Niedrigreibwertseite und/oder eine Hochreibwertseite des Fahrzeugs erkannt wird,
- ein Stabilitätsindex gebildet wird, der einen Fahrzustand des Fahrzeugs repräsentiert,
- der Stabilitätsindex anhand der Niedrigreibwertseite und/oder anhand der Hochreibwertseite bewertet wird, und
- der Bremsdruck in wenigstens einer Radbremse in Abhängigkeit des Wertes des Stabilitätsindex' und in Abhängigkeit eines Ergebnisses der Bewertung des Stabilitätsindex' anhand der Niedrigreibwertseite und/oder der Hochreibwertseite verändert wird.

2. Verfahren nach Anspruch 1,

**d a d u r c h   g e k e n n z e i c h n e t,**

dass eine ABS-Regelung für ein Rad auf der Niedrigreibwertseite durchgeführt wird, und dass eine Bremsdruckdifferenz den Bremsdrücken in der Radbremse auf der Hochreibwertseite und in der Radbremse auf der Niedrigreibwertseite bestimmt wird, wobei die Radbremsen vorzugsweise an einer Fahrzeugachse angebracht sind.

3. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 und 2,

**d a d u r c h   g e k e n n z e i c h n e t,**

dass der Stabilitätsindex in Abhängigkeit eines Lenkwin-

kels an den lenkbaren Rädern des Fahrzeugs und/oder einer Gierrate des Fahrzeugs gebildet wird.

4. Verfahren nach einem der vorangegangenen Ansprüche,  
**dadurch gekennzeichnet,**  
dass der Stabilitätsindex anhand einer Abweichung zwischen einem momentanen Lenkwinkel und einem zum Beginn eines Bremsvorgangs auf einer Fahrbahn mit inhomogenem Reibwert vorliegenden Lenkwinkel bestimmt wird.
5. Verfahren nach einem der vorangegangenen Ansprüche,  
**dadurch gekennzeichnet,**  
dass der Stabilitätsindex anhand einer Abweichung zwischen einer momentanen Gierrate des Fahrzeugs und einer anhand des zum Beginn des Bremsvorgangs vorliegenden Lenkwinkels in einem Fahrzeugmodell ermittelten Referenzgierrate bestimmt wird.
6. Verfahren nach einem der vorangegangenen Ansprüche,  
**dadurch gekennzeichnet,**  
dass der Stabilitätsindex in Abhängigkeit einer Abweichung zwischen einem von dem Fahrzeugbediener kommandierten Lenkwinkel und einem an den lenkbaren Rädern des Fahrzeugs eingestellten Solllenkwinkel ermittelt wird.
7. Verfahren nach einem der vorangegangenen Ansprüche,  
**dadurch gekennzeichnet,**  
dass der Solllenkwinkel einen Steueranteil enthält, der in Abhängigkeit eines Störgiermoments in einem Fahrzeugmodell ermittelt wird.
8. Verfahren nach einem der vorangegangenen Ansprüche,  
**dadurch gekennzeichnet,**

dass der Solllenkwinkel einen Regelanteil enthält, der in Abhängigkeit der Gierratenabweichung zwischen der Gierrate des Fahrzeugs und einer Referenzgierrate des Fahrzeugs bestimmt wird.

9. Verfahren nach einem der vorangegangenen Ansprüche,  
**dadurch gekennzeichnet,**  
dass der Stabilitätsindex in Abhängigkeit einer Abweichung zwischen einer Gierrate des Fahrzeugs und einer anhand wenigstens einer von einem Fahrzeugbediener vorgegebenen Größe in einem Fahrzeugmodell ermittelten Sollgierrate gebildet wird.
10. Verfahren nach einem der vorangegangenen Ansprüche,  
**dadurch gekennzeichnet,**  
dass der Stabilitätsindex in Abhängigkeit einer Querbeschleunigung des Fahrzeugs ermittelt wird.
11. Verfahren nach einem der vorangegangenen Ansprüche,  
**dadurch gekennzeichnet,**  
dass der Stabilitätsindex in Abhängigkeit eines Schwimmwinkels und/oder eine Schwimmwinkelgeschwindigkeit ermittelt wird.
12. Verfahren nach einem der vorangegangenen Ansprüche,  
**dadurch gekennzeichnet,**  
dass ein Vorzeichen des Stabilitätsindex' in Abhängigkeit der Niedrigreibwertseite und/oder in Abhängigkeit der Hochreibwertseite ermittelt wird.
13. Verfahren nach einem der vorangegangenen Ansprüche,  
**dadurch gekennzeichnet,**  
dass der Bremsdruck in Abhängigkeit eines Ergebnisses ei-

nes Vergleichs des Stabilitätsindex' mit wenigstens einem Schwellenwert verändert wird.

14. Verfahren nach einem der vorangegangenen Ansprüche,  
**dadurch gekennzeichnet,**  
dass der Bremsdruck in der Radbremse auf der Hochreibwertseite gegenüber dem Bremsdruck in der Radbremse auf der Niedrigreibwertseite erhöht wird, wenn der Stabilitätsindex einen vorgegebenen Schwellenwert überschreitet.
15. Verfahren nach einem der vorangegangenen Ansprüche,  
**dadurch gekennzeichnet,**  
dass die Bremsdruckdifferenz zwischen dem Bremsdruck in der Radbremse auf der Niedrigreibwertseite und dem Bremsdruck in der Radbremse auf der Hochreibwertseite begrenzt wird.
16. Verfahren nach einem der vorangegangenen Ansprüche,  
**dadurch gekennzeichnet,**  
dass eine Begrenzung der Bremsdruckdifferenz in Abhängigkeit einer Geschwindigkeit des Fahrzeugs vorgenommen wird.
17. Verfahren nach einem der vorangegangenen Ansprüche,  
**dadurch gekennzeichnet,**  
dass keine Bremsdruckdifferenz zugelassen wird, wenn die Niedrigreibwertseite und/oder die Hochreibwertseite wechseln.
18. Verfahren nach einem der vorangegangenen Ansprüche,  
**dadurch gekennzeichnet,**  
dass eine Bremsdruckdifferenz an der Hinterachse auf einen vorbestimmten Anteil einer Bremsdruckdifferenz an der Vor-



derachse begrenzt wird.

19. Verfahren nach einem der vorangegangenen Ansprüche,  
**d a d u r c h g e k e n n z e i c h n e t,**  
dass das Bremsdruckverhältnis an der Hinterachse auf einen vorbestimmten Anteil des Bremsdruckverhältnis an der Vorderachse begrenzt wird.
20. Verfahren nach einem der vorangegangenen Ansprüche,  
**d a d u r c h g e k e n n z e i c h n e t,**  
dass eine Veränderung des Bremsdrucks dann vorgenommen wird, wenn eine Geradeausfahrt des Fahrzeugs ermittelt wird.
21. Verfahren nach einem der vorangegangenen Ansprüche,  
**d a d u r c h g e k e n n z e i c h n e t,**  
dass bei Kurvenfahrt bei Kurvenfahrt ein langsamerer Druckaufbau und ein schnellerer Druckabbau durchgeführt wird und die Begrenzung der Bremsdruckdifferenz und/oder des Bremsdruckverhältnis der Hinterachse restriktiver erfolgt.
22. Verfahren nach einem der vorangegangenen Ansprüche,  
**d a d u r c h g e k e n n z e i c h n e t,**  
dass eine Kurvenfahrt mittels eines Kurvenindex erfolgt, der sich aus Gierrate, Lenkwinkel und Querbesehleunigung ergibt.
23. Vorrichtung zum Regeln einer Bremsdruckdifferenz zwischen einem Bremsdruck in einer Radbremse auf einer Niedrigreibwertseite und einem Bremsdruck in einer Radbremse auf einer Hochreibwertseite eines Fahrzeugs wäh-

rend eines Bremsvorgangs auf einer Fahrbahn mit einem inhomogenen Reibwert, mit

- einem Erkennungsmittel zum Erkennen der Niedrigreibwertseite und/oder der Hochreibwertseite,
- einem Bestimmungsmittel zum Bestimmen eines Stabilitätsindex', der einen Fahrzustand des Fahrzeugs repräsentiert,
- einem Bewertungsmittel zum Bewerten des Stabilitätsindex' anhand der in dem Erkennungsmittel erkannten Niedrigreibwertseite und/oder Hochreibwertseite,
- einem Berechnungsmittel zum Ermitteln der Bremsdruckdifferenz in Abhängigkeit eines Wertes des Stabilitätsindex und eines Ergebnis der Bewertung des Stabilitätsindex' anhand der Niedrigreibwertseite und/oder der Hochreibwertseite.

24. Vorrichtung nach Anspruch 20, **d a d u r c h g e k e n n z e i c h n e t**,  
dass sie einen ABS-Regler enthält, der den Bremsdruck in der Radbremse auf der Niedrigreibwertseite regelt.
25. Vorrichtung nach einem der Ansprüche 20 und 21, **d a d u r c h g e k e n n z e i c h n e t**,  
dass sie ein Speichermittel zum Speichern eines zum Beginn des Bremsvorgangs an lenkbaren Rädern des Fahrzeugs vorliegenden Lenkwinkels aufweist.
26. Vorrichtung nach einem der Ansprüche 20 bis 22, **d a d u r c h g e k e n n z e i c h n e t**,  
dass sie ein erstes Lenkwinkelvergleichsmittel zum Vergleichen eines mit einem Lenkwinkelsensor gemessenen

Lenkwinkels mit dem in Speichermittel gespeicherten Lenkwinkel aufweist.

27. Vorrichtung nach einem der Ansprüche 20 bis 23,  
**dadurch gekennzeichnet,**  
dass sie ein erstes Gierratenvergleichsmittel zum Vergleichen einer mit einem Gierratensensor gemessenen Gierrate des Fahrzeugs mit einer anhand des gespeicherten Lenkwinkels in einem Fahrzeugmodell berechneten Referenzgierrate aufweist.
28. Vorrichtung nach einem der Ansprüche 23 und 24,  
**dadurch gekennzeichnet,**  
dass das Bestimmungsmittel zum Bestimmen des Stabilitätsindex' auf die Ergebnisse des in dem ersten Lenkwinkelvergleichsmittel durchgeführten Vergleichs und/oder des in dem ersten Gierratenvergleichsmittel durchgeführten Vergleichs zugreift.
29. Vorrichtung nach einem der Ansprüche 20 bis 24,  
**dadurch gekennzeichnet,**  
dass sie einen Lenkwinkelregler zum Ermitteln eines Solllenkwinkels aufweist.
30. Vorrichtung nach einem Anspruch 26,  
**dadurch gekennzeichnet,**  
dass der Lenkwinkelregler ein Mittel zum Bestimmen eines Steuerungsanteils des Solllenkwinkels in Abhängigkeit eines Störgiermoments umfasst.
31. Vorrichtung nach einem der Ansprüche 26 und 27,  
**dadurch gekennzeichnet,**  
dass der Lenkwinkelregler ein Mittel zum Bestimmen eines

Regelanteils des Solllenkwinkels anhand einer Abweichung der gemessenen Gierrate des Fahrzeugs von einer Referenzgierrate umfasst.

32. Vorrichtung nach einem der Ansprüche 26 bis 28,  
**dadurch gekennzeichnet,**  
dass sie ein Mittel zum Einstellen des Solllenkwinkels umfasst.
33. Vorrichtung nach Anspruch 29,  
**dadurch gekennzeichnet,**  
dass es sich bei dem Mittel zum Einstellen des Solllenkwinkels um eine Überlagerungslenkung handelt.
34. Vorrichtung nach Anspruch 29,  
**dadurch gekennzeichnet,**  
dass es sich bei dem Mittel zum Einstellen des Solllenkwinkels um eine Steer-by-Wire-Lenkung handelt.
35. Vorrichtung nach einem der Ansprüche 26 bis 31,  
**dadurch gekennzeichnet,**  
dass sie ein zweites Lenkwinkelvergleichsmittel zum Vergleichen des Solllenkwinkels mit einem von dem Fahrer kommandierten Lenkwinkel aufweist.
36. Vorrichtung nach einem der Ansprüche 26 bis 32  
**dadurch gekennzeichnet,**  
dass sie ein zweites Gierratenvergleichsmittel zum Vergleichen der gemessenen Gierrate des Fahrzeugs mit einer anhand des von dem Fahrer kommandierten Lenkwinkels in einem Fahrzeugmodell berechneten Referenzgierrate aufweist.

37. Vorrichtung nach einem der Ansprüche 32 und 33,  
**d a d u r c h   g e k e n n z e i c h n e t ,**  
dass das Bestimmungsmittel zum Bestimmen des Stabilitätsindex' auf die Ergebnisse des in dem zweiten Lenkwinkelvergleichsmittel durchgeführten Vergleichs und/oder des in dem zweiten Gierratenvergleichsmittel durchgeführten Vergleichs zugreift.

**Zusammenfassung:**

Die Erfindung betrifft ein Verfahren zum Regeln eines Bremsdrucks in wenigstens zwei, vorzugsweise an einer Fahrzeugachse angebrachten Radbremsen, während eines Bremsvorgangs auf einer Fahrbahn mit inhomogenem Reibwert.

Dass Verfahren zeichnet sich dadurch aus, dass

- eine Niedrigreibwertseite und/oder eine Hochreibwertseite erkannt wird,
- ein einen Fahrzustand des Fahrzeugs repräsentierender Stabilitätsindex gebildet wird,
- der Stabilitätsindex anhand der Niedrigreibwertseite und/oder anhand der Hochreibwertseite bewertet wird, und
- der Bremsdruck in wenigstens einer Radbremse in Abhängigkeit des Wertes des Stabilitätsindex' und in Abhängigkeit eines Ergebnisses der Bewertung des Stabilitätsindex' anhand der Niedrigreibwertseite und/oder der Hochreibwertseite verändert wird.

Die Erfindung betrifft zudem eine zur Durchführung des Verfahrens geeignete Vorrichtung.

(Fig. 5)